



Prediction of Spring Radiation Frost by an Empirical Model (Case Study of Qazvin Plain)

Mojtaba Nassaji Zavareh^{1*} | Hossein Hokmabadi² | Alireza Asadollahi³

1. Assistant Professor, Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: nassaji.m.z@gmail.com
2. Associate professor, Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
3. Researcher Pistat Research Center, Qazvin, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 14 June 2022

Received in revised form 2

November 2022

Accepted 8 December 2022

Published online 19 February

2024

ABSTRACT

Late spring frost cause a lot of damage to the agricultural sector every year. Prediction of this phenomenon is needed to active protection of plants. In this research, using FAO experimental method, daily and hourly data of two meteorological stations were used to determine the coefficients of the experimental model for prediction radiation frost in Qazvin Plain. also, in order to investigate the climatic condition of spring frost, the daily minimum temperature data of Qazvin and Buinzahra stations were used. The analysis of sixty years data in Qazvin stations showed that the intensity of frost has decreased during these years, but frequency of frost in Ordibehesht month has increased. Air, dew-point at two hours after sunset and minimum temperature relate 25 events of radiation frost at Simorgh station were used for regional coefficient calculation based on two models. These models were evaluated using 14 events of radiation frost at Tat stations. The mean absolute error(MAE) for testing and evaluating of Model1 was 0.71°C and 1.21°C and for Model2 was 0.67°C and 1.09°C. The findings also showed that both models have acceptable accuracy in estimating the minimum temperature of the next day. It is proposed that these two models can be used for prediction of radiation frost in other regions.

Keywords:

Radiation frost, Freezing,
Dew-point temperature, Air
temperature, Buinzahra

Cite this article: Nassaji Zavareh, M; Hokmabadi, H; Asadollahi, A. (2024). Prediction of Spring Radiation Frost by an Empirical Model (Case Study of Qazvin Plain). *Journal of Geography and Planning*, 27 (86), 185-197. <http://doi.org/10.22034/GP.2022.52091.3012>



© The Author(s).

Publisher: University of Tabriz.

DOI: <http://doi.org/10.22034/GP.2022.52091.3012>

Extended Abstract

Introduction

Population growth leads to the increased need for food supply and agricultural production. One of the most effective factors in reducing of crops production is frost. Every year in areas with a high risk of frost, this phenomenon causes a lot of damage to agricultural productions. Consequently, these damage to agricultural products affects the economic and social security of affected areas, farmers and rural families. Despite the increase in global temperature, frost is still a frequent problem specially in spring. Like most other parts of world, Iran's gardening products also have been affected by late spring frosts since late. Radiation frost is a local phenomenon and requires a prediction model using hourly data. One of the basic problems in the active coping against this phenomenon is the prediction of radiation frost at the local level. Most agriculture areas lack meteorological stations or have local stations with limited data. Therefore, radiation frost prediction using minimum meteorological data is required. This study conducted to predict the next day's minimum temperature with appropriate accuracy by using minimum hourly temperature and dew point temperature data.

Data and Method

Daily and hourly minimum temperature data of the stations of the study area in Buin Zahara region were collected. To prepare the regional radiative frost model, hourly temperature and dew point temperature data are needed. Data about temperature, precipitation, relative humidity, wind direction and speed in a one-hour time scale from Simorgh and Tat Farm stations in the period of 2012-2019 were collected. The data of Ghazvin and Buin Zahra stations were on daily and long-term scale used as control to determine the intensity, frequency and trend of spring frost on a long-term scale.

Results and Discussion

In this research, the frostbite in late April 2017 and early May 2018 was investigated. In both years with the arrival of a new weather system and the drop in dew point temperature in the following days and reduction in the wind speed to less than 2 meters per second, the necessary conditions for radiation frost was provided. For this purpose, the minimum temperature data of Qazvin station in the last 60 years were analysed. The results showed that the severity and frequency of spring frostbite has decreased. This issue is due to global warming. The occurrence of the last spring frost in the second 30 years of this period has changed towards the frost in Ordibehesht. The most common of which was 5 frosts in the period of 2011-2019, which indicates the increased risk of frost during the flowering stage of plants. Also, the frost condition index in Qazvin station showed that the frequency of spring frosts is delayed compared to the normal period. While the risk of mild frost has decreased in the second thirty years of the 60-years statistical period due to the increase in air temperature. This issue indicated the increase of extreme events in recent decades. The increased risk of plant frost is probably due to higher temperature caused by climate change.

Conclusion

One of the most important damages to the agricultural sector, especially garden products, is late spring frost. These damages not only affect production in the year of occurrence but also in the next years. The first step in dealing with frostbite is prediction of time for occurrence of this event. The minimum daily temperature is forecasted only for the next 72 hours by I.R of Iran Meteorological Organization (IRIRMO). Due to the dispersion and distance of agricultural areas from meteorological stations simple models are needed. This helps to be able to fight actively if this phenomenon occurs our findings showed that the severity of late spring frosts decreased, but the time of their occurrence has been delayed. It can cause damage to agricultural products due to the sensitivity of plants to frost in this period. In the second step, to predict the minimum temperature by using the experimental model in a local station (Simorgh) which has hourly data, 25 radiation frost events were selected. The coefficients of the model were calculated using the data of air temperature and dew point temperature 2 hours after sunset and the minimum temperature of the next day. The coefficients of two models were calibrated using air temperature and dew point temperature 2 hours after sunset. The evaluation of the models was done using the data of Tat farm.

References

- Drepper, B., Gobin, A., Orshoven, J. V., (2022), **Spatio-temporal assessment of frost risks during the flowering of pear trees in Belgium for 1971–2068**, *Agricultural and Forest Meteorology*, **315**: 12pp.
- Fuentes, M., Campos, C., García-Loyola, S., (2018), **Application of artificial neural networks to frost detection in central Chile using the next day minimum air temperature forecast**, *Chilean Journal of Agricultural Research*, **78(3)**: 327-338.

- Ghielmi, L., Eccel, E., (2006), **Descriptive models and artificial neural networks for spring frost prediction in an agricultural mountain area**, Computers and Electronics in Agriculture, **54(2)**: 101–114.
- Glickman, T.S., (2000), **Glossary of Meteorology**, 2nd ed. American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, USA. 850 p
- Gu, L., Hanson, P.J.W., Post, M. Kaiser, D.P. Yang, B. Nemani R., Pallardy, S.G., Meyers, T., (2008), The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world? *BioScience*, **58(3)**: 253–262.
- Inouye, D.W. (2008), **Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers**, *Ecology*, **89(2)**: 353–362.
- Katz, R.W., Brown, B.G., (1992), **Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages**, *Climate Change*, **21(3)**: 289–302.
- Lee, H., Chun, J. A., Han, H., Kim, S., (2016), **Prediction of frost occurrences using statistical modeling approaches**, *Advances in Meteorology*, 1-9
- Menzel, A., (2000), **Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996**, *International Journal of Biometeorology* **44(2)**: 76–81.
- Moeletsi, M.E., Tongwane, M.L., (2017), **Spatiotemporal variation of frost within growing periods**, *Advances in Meteorology*, 1-11.
- Rigby, J. R., Porporato, A., (2008), **Spring frost risk in a changing climate**, *Geophysical Research Letters*, **35(12)**: 1-5.
- Schaber, J., Baldeck, F.W., (2005), **Plant phenology in Germany over the 20th century**, *Regional Environmental Change*, **5(1)**: 37–46.
- Snyder, R.L., de Melo-Abreu, J.P., (2005). **Frost Protection: fundamentals, practice, and economics**, Volume 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lhotka, O., Bronnimann, S., (2020). **Possible increase of vegetation exposure to spring frost under climate change in Switzerland**, *Atmosphere*, **11(4)**: 391; <https://doi.org/10.3390/atmos11040391>.
- Lungu, M., Panaitescu, L., Albu, A., Cracu, G., Nita, S., (2010). **Frost and thaw - Climatic risk to crops in Southern Dobrudja**. *Research Journal of Agricultural Science* **42**: 673-677.
- Savage, M. J., (2012). **Estimation of frost occurrence and duration of frost for a short-grass surface**, *South African Journal of Plant and Soil* **29(3-4)**: 173–181.
- Muller, K. O'Connor, T. G., Henschel, J. R., (2016). **Impact of a severe frost event in 2014 on woody vegetation within the Nama-Karoo and semi-arid savanna biomes of South Africa**. *Journal of Arid Environments*, **133**: 112–121.
- Smyth, M., Skates, H. A., (2009), **passive solar water heating system for vineyard frost protection**. *Solar Energy*, **83(3)**: 400–408.
- Masaki, Y., (2022). Future frost risks in the Tohoku region of Japan under a warming climate—interpretation of regional diversity in terms of seasonal warming. **Theoretical and Applied Climatology**, **147**:473–485.
- Khalili, A.,(2014). Quantitative Evaluation of Spring Frost Risk to Agricultural and Horticultural Crops in Iran and Modeling. *Journal of Agricultural Meteorology*, **2(1)**: 17-31. (in persian)
- Khalili, A., Rahimi, J., Bazrafshan, J., (2017). Quantitative projection of the probable impacts of climate change on date and damage risk of late spring frost during 21st century over Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, **4(2)**: 38-48. (in persian)



پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی بهاره با استفاده از مدل تجربی (مطالعه موردی دشت قزوین)

مجتبی نساجی زواره^{۱*} | حسین حکم آبادی^۲ | علیرضا اسدالهی^۳

۱. استادیار موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: nassaji.m.z@gmail.com

۲. دانشیار گروه باغبانی، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳. کارشناس مرکز تحقیقات پیستاق، قزوین، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۷</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰</p> <p>کلیدواژه‌ها: سرمازدگی تشعشعی، یخبندان، دمای نقطه شبنم، دمای هوا، بوئین‌زهر</p>	<p>هر ساله سرمازدگی دیررس بهاره خسارت‌های زیادی را به بخش کشاورزی وارد می‌نماید. پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی برای مبارزه فعال با این پدیده مورد نیاز است. در این پژوهش با استفاده از مدل تجربی پیشنهاد شده به وسیله فائو و داده‌های ساعتی دو ایستگاه هواشناسی ضرایب مدل تجربی پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی در دشت قزوین محاسبه گردید. همچنین به منظور بررسی وضعیت اقلیمی سرمازدگی بهاره از داده‌های دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های قزوین و بوئین‌زهرها استفاده شد. تحلیل داده‌های ۶۰ ساله ایستگاه قزوین نشان داد که شدت سرمازدگی کاهش یافته اما فراوانی زمان وقوع سرمازدگی در اردیبهشت ماه بیشتر شده است. با استفاده از داده‌های مشاهداتی ۲۵ رخدادهای سرمازدگی تشعشعی، شامل دمای هوا و دمای نقطه شبنم ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای مینی‌موم روز بعد ضرایب منطقه‌ای دو مدل در ایستگاه سیمیرغ محاسبه گردید. سپس این دو مدل با استفاده از ۱۴ رخدادهای سرمازدگی تشعشعی در ایستگاه مزرعه ارزیابی گردید. نتایج نشان داد مقدار متوسط خطای مطلق (MAE) برای تست و ارزیابی مدل ۱، ۰/۷۱ و ۱/۲۱ و برای مدل ۲، ۰/۶۷ و ۱/۰۹ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین نتایج مشخص نمود هر دو مدل دقت قابل قبولی در تخمین دمای حداقل روز بعد را دارد. پیشنهاد می‌گردد این مدل برای دشت‌های دیگر کشور نیز در پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی کالیبره شده و برای هر منطقه مدل مناسب ارائه گردد.</p>

استاد: نساجی زواره، مجتبی؛ حکم آبادی، حسین؛ اسدالهی، علیرضا (۱۴۰۲). پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی بهاره با استفاده از مدل تجربی

(مطالعه موردی دشت قزوین). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۷ (۸۶)، ۱۹۷-۱۸۵.



<http://doi.org/10.22034/GP.2022.52091.3012>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

با توجه به رشد جمعیت، افزایش تولیدات کشاورزی برای تامین مواد غذایی باید مد نظر قرار گیرد. یکی از عوامل موثر بر کاهش تولید محصولات زراعی و باغی سرمازدگی است. در مناطق با ریسک بالای سرمازدگی هر ساله این پدیده خسارت‌های زیادی را به محصولات کشاورزی وارد می‌نماید. سرمازدگی نه تنها سبب خسارت به تولیدات کشاورزی می‌گردد بلکه بر امنیت اقتصادی و اجتماعی مناطق تحت تاثیر، کشاورزان و خانواده‌های روستایی تاثیرگذار است. علی‌رغم افزایش دمای جهانی، سرمازدگی یک مشکل پرتکرار در فصل بهار است. تغییرات اقلیمی شامل بهار گرم‌تر و زود هنگام بوده که در نتیجه تاریخ برگ‌دهی و توسعه زایشی در درختان مناطق معتدله جلو آمده است (منزل^۱، ۲۰۰۵ و شابر و بادلک^۲، ۲۰۰۵). بنابراین پتانسیل آسیب‌پذیری در اثر سرمازدگی بهاره افزایش خواهد یافت. در عرض‌های جغرافیایی معتدل، آنالیز اقلیمی، تغییرپذیری بیشتر دما را در دهه‌های اخیر نشان داد (ریگبی و پورپوراتو^۳، ۲۰۰۸). تغییر در فراوانی وقایع حدی نظیر سرمازدگی، بیشتر تحت تاثیر تغییرپذیری دما تا روند دما قرار دارد (کاتز و براون^۴، ۱۹۹۲). بنابراین ریسک بیشتر سرمازدگی گیاهان با گرمایش دمای ناشی از تغییر اقلیم قابل پیش‌بینی است (گو و همکاران^۵، ۲۰۰۷ و اینویه^۶، ۲۰۰۸).

اغلب تحقیقات در ارتباط با سرمازدگی بر روی پهنه‌بندی، پیش‌بینی و روش‌های مبارزه فعال با آن انجام شده است. تعدادی از تحقیقات بر روی پهنه‌بندی شدت سرمازدگی محصولات زراعی و باغی متمرکز است. امیدورا و دهقان بنادکی (۱۳۹۱) پهنه‌بندی شدت سرمازدگی بهاره باغ‌های پسته استان یزد را بررسی نمودند. نتایج نشان داد جنوب و جنوب غرب مناطق دهشیر، مروست، اشکذر، اردکان و بهاران مناطق پرخطری از نظر وقوع شدت سرمازدگی بهاره برای باغات پسته بود. در تحقیقی دیگر نقشه وقوع سرمازدگی با احتمال وقوع ۷۵ درصد را برای گیاهان زراعی و باغی استان آذربایجان غربی ارائه نمودند (حصاری و همکاران، ۱۳۹۴). نصر اصفهانی و همکاران (۱۳۹۸) پیش‌بینی دما در زمان وقوع سرمازدگی بهاره را برای یازده ایستگاه هواشناسی در حوضه آبریز زاینده رود را با استفاده از مدل WRF ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد دمای شبیه‌سازی شده ۲۴ ساعته دقت بیشتری نسبت به ۴۸ ساعته دارد. روند تغییرات دمای حداقل ایستگاه خرم‌آباد در دوره زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۴ نشان دهنده کاهش شدت یخبندان بود (بهاروند و همکاران، ۱۴۰۰). تغییرات زمانی و مکانی آغاز و خاتمه وقوع یخبندان استان یزد در دوره آماری ۱۷ ساله مشخص نمود یخبندان در نواحی شمال و شمال شرق زودتر آغاز شده و دیرتر پایان یافته است (فاطمی، ۱۴۰۰). تعداد دیگر از محققین اثرات تغییر اقلیم را بر روری تاریخ ریسک یخبندان مورد بررسی قرار دادند. نتایج یک تحقیق در ایران نشان داد یخبندان دیررس بهاره با گذشت زمان بر اساس هر دو سناریو زودتر اتفاق خواهد افتاد. همچنین در دهه‌های آتی با ریسک کمتر پدیده یخبندان دیررس بهاره مواجه خواهیم شد (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین در تحقیقی دیگر اثرات تغییر اقلیم بر جابجایی تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان‌های پاییزه و بهاره ایران بررسی گردید. نتایج نشان داد که اولین یخبندان پاییزه به سمت اوایل زمستان و آخرین یخبندان بهاره به سوی اواخر زمستان در سطح کشور جابجا خواهد شد (دارائی و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج تحقیقات منطقه‌ای در شمال غرب کشور مشخص نمود که تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهاره در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شرایط تغییر اقلیم زودتر رخ خواهد داد و طول دوره سرما و یخبندان نیز کاهش خواهد یافت (جعفری‌گلو و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین جعفری‌گلو و همکاران (۱۴۰۰) ضمن بررسی تغییرات دمای کمینه منطقه شمال غرب کشور با استفاده از مدل‌های MPEH5 و HadCM3 مشخص نمودند نیمه شمالی منطقه شمال غرب تغییرات دمایی بیشتری نسبت به نیمه جنوبی دارد. در بررسی اثر تغییر اقلیم بر سرمازدگی بهاره در مناطق دیگر دنیا نتایج متفاوتی به دست آمد. نتایج تحقیق در کشور سوئیس

- 1 . Menzel
- 2 . Schaber and Baldeck
- 3 . Rigby and Porporato
- 4 . Katz and Brown
- 5 . Gu et al
- 6 . Inouye

نشان داد که در آینده احتمال افزایش خطر سرمازدگی بهاره در این کشور وجود دارد (لوتکا و برونیمان،^۱ ۲۰۲). تغییرات تاریخ آخرین سرمازدگی در شرایط تغییر اقلیم در توکیو ژاپن نشان داد که مناطق با روند گرمایش فصلی کمتر تغییرات بیشتری در تاریخ آخرین یخبندان دارند (ماساکی،^۲ ۲۰۲۲). همچنین ریسک خطر یخبندان در طول دوره گلدهی درختان گلابی در کشور بلژیک در شرایط تغییر اقلیم ۲۵ درصد کمتر پیش‌بینی شده است (درپر و همکاران،^۳ ۲۰۲۲).

تعدادی از محققین با استفاده از تحلیل‌های اقلیمی داده‌های هواشناسی، سرمازدگی تشعشعی را با استفاده از مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی پیش‌بینی نمودند. غیلمی و اکسل^۴ (۲۰۰۶) با استفاده از مدل شبکه عصبی و داده‌های دمای غروب آفتاب، رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای خاک، ماکزیمم دمای روزانه، دمای حداقل روز بعد و طول روز در ناحیه کشاورزی کوهستانی، سرمازدگی بهاره را پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که خطاها در ۵۰ درصد موارد به طور متوسط در کلاس یک درجه سانتی‌گراد است. مولتسی و تونگوانه^۵ (۲۰۱۷) تغییرات زمانی و مکانی سرمازدگی را در دوره رشد در آفریقای جنوبی بررسی نمودند. در این مطالعه احتمال یخبندان در دوره‌های مختلف رشد از دهه اول اکتبر تا دهه سوم فوریه برای کشت ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ روزه تعیین شد. مناطق غربی، مرکزی، شمالی و شمال غربی از اواسط اکتبر دارای طولانی‌ترین دوره رشد بودند. محققین دیگر با استفاده از روش‌های آماری، رگرسیون لجستیک و درخت تصمیم‌گیری سرمازدگی را پیش‌بینی نمودند. روش درخت تصمیم برای سیستم هشدار به موقع سرمازدگی روش مناسب‌تری بود (لی و همکاران،^۶ ۲۰۱۷). همچنین در تحقیق دیگری با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های دمای هوا، رطوبت نسبی، تابش، بارش، جهت و سرعت باد، دمای حداقل روزانه در مناطق مرکزی شیلی پیش‌بینی گردید. میانگین مربعات خطا برای پیش‌بینی دمای حداقل ۲/۹۹ درجه سانتی‌گراد بود (فوئنتس و همکاران،^۷ ۲۰۱۸). محصولات باغی ایران از دیر باز تحت تاثیر سرمازدگی‌های دیررس بهاره بوده است. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی در بین مخاطرات جوی، سرمازدگی بیشترین خسارت را به محصولات کشاورزی به خصوص محصولات باغی وارد نموده است. همچنین افزایش این خسارت در سال‌های اخیر را می‌توان به نوسانات جوی ناشی از تغییر اقلیم نسبت داد. غالب تحقیقات صورت گرفته در کشور در ارتباط با سرمازدگی با تجزیه و تحلیل داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک به بررسی ریسک و اثرات تغییر اقلیم بر روی این پدیده در سطح بزرگ مقیاس پرداخته است. در حالیکه سرمازدگی تشعشعی پدیده محلی بوده و نیاز به مدل پیش‌بینی با استفاده از داده‌های ساعتی دارد. یکی از مشکلات اساسی در مبارزه فعال با این پدیده پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی در سطح محلی است. اکثر مناطق کشاورزی فاقد ایستگاه‌های هواشناسی بوده و یا دارای ایستگاه‌های محلی با داده‌های محدود است. بنابراین پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی با استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق تلاش گردیده است تا با استفاده از حداقل داده‌های ساعتی دما و دمای نقطه شبنم امکان پیش‌بینی دمای حداقل روز بعد با دقت مناسبی انجام پذیرد.

مبانی نظری

سرمازدگی در واژه‌نامه هواشناسی به عنوان شرایطی تعریف شده است که دمای سطح زمین و اجسام روی زمین به زیر صفر درجه سانتی‌گراد برسد (انجمن هواشناسی آمریکا،^۸ ۲۰۰۰). در حالیکه از دیدگاه کشاورزی هنگامی که دمای هوا به کمتر از دمای آستانه تحمل گیاه برسد سرمازدگی اتفاق خواهد افتاد. سرمازدگی معمولاً به صورت جبهه‌ای، تشعشعی و یا ترکیبی از این دو نوع رخ می‌دهد (لانگیو و همکاران،^۹ ۲۰۱۰). سرمازدگی جبهه‌ای نتیجه ورود جبهه هوای سرد در مقیاس بزرگ است. در این نوع سرمازدگی

1 . Lhotka and Bronnimann

2 . Masaki

3 . Drepper et al

4 . Ghielmi and Eccel

5 . Moeletsi and Tongwane

6 . Lee et al

7 . Fuentes et al

8 . American Meteorological Society

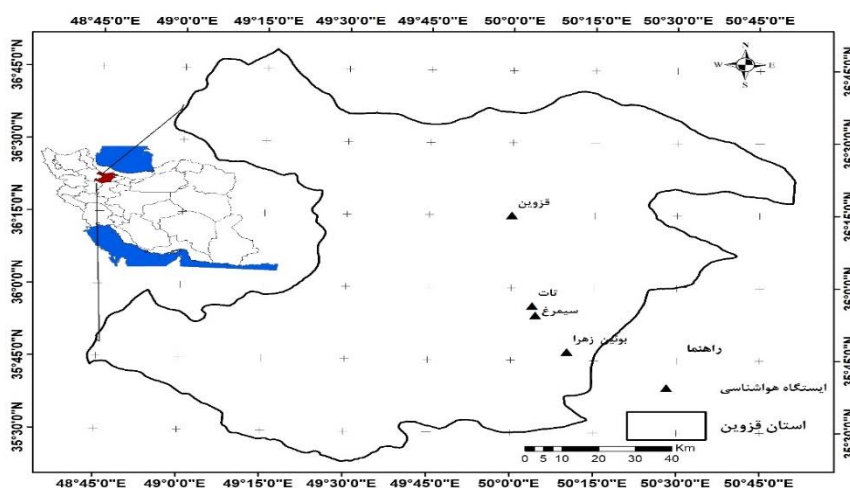
9 . Lungu et al

آسمان ابری، شرایط بادی متوسط تا شدید، رطوبت پایین و بدون وارونگی دما است. دما غالباً به زیر نقطه انجماد (صفر درجه سلسیوس) کاهش پیدا کرده و کل روز در این شرایط باقی خواهد ماند. سرمازدگی تشعشعی نتیجه تابش طول موج بلند تحت شرایط آسمان صاف، نقطه شبنم پایین و وضعیت باد آرام یا با سرعت کم است. در این نوع سرمازدگی دمای هوا در طول شب زیر صفر و در طول روز بالای صفر درجه سانتی‌گراد خواهد بود (اشنایدر و ملوآبرو^۱، ۲۰۰۵). در شب‌هایی با احتمال رخداد سرمازدگی تشعشعی بسیار زیاد، روند کاهشی دما نیز مهم و ضروری است. روند کاهش دما در طول شب تحت تاثیر عوامل دیگری نظیر سرعت باد، فشار بخار آب، پایداری جو، بارش، دمای آسمان، پوشش ابر و ویژگی‌های توپوگرافی محلی است (سویج^۲، ۲۰۱۲ و همکاران^۳، ۲۰۱۶). پیش‌بینی سرمازدگی جبهه‌ای با توجه به وسعت این رخداد امکان پذیر بوده در حالیکه سرمازدگی تشعشعی در سطح محلی رخ داده و نیاز به پیش‌بینی محلی دارد. اگرچه مبارزه با سرمازدگی جبهه‌ای امکان‌پذیر نمی‌باشد اما مبارزه با سرمازدگی تشعشعی با استفاده از روش‌های فعال امکان‌پذیر خواهد بود. از مهم‌ترین روش‌های مبارزه فعال، استفاده از ماشین‌های بادی، آبیاری بارانی و بخاری‌های باغی در قبل یا طول شب‌های یخبندان است (اسمایت و اسکیت^۴، ۲۰۰۹). این روش‌ها بسیار پرهزینه بوده و برای استفاده از آنها نیاز به پیش‌بینی دقیق سرمازدگی داریم. بنابراین پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی با دقت بالا برای مبارزه با این رخداد برای کشاورزان بسیار پراهمیت و پیش‌بینی‌های ناصحیح می‌تواند باعث افزایش هزینه تولید یا از دست رفتن کل یا بخشی از تولید گردد.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

برای این تحقیق از داده‌های روزانه و ساعتی دمای کمینه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در منطقه بوئین زهرا استفاده گردید. نام، مختصات جغرافیایی و طول دوره آماری ایستگاه‌های منتخب در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین موقعیت مکانی این ایستگاه‌ها در شکل ۱ آمده است. داده‌های این ایستگاه‌ها از نظر نوع اندازه‌گیری از کیفیت نسبتاً مناسبی برخوردار بوده و دوره بلندمدت بیش از ۵۰ سال را نیز پوشش داده‌اند. برای تهیه مدل سرمازدگی تشعشعی منطقه‌ای نیاز به داده‌های ساعتی دما و دمای نقطه شبنم است. ایستگاه‌های سیمرغ و مزرعه تات اطلاعات دما، بارش، رطوبت نسبی، جهت و سرعت باد را در مقیاس زمانی یک ساعته در دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۲ دارد. همچنین داده‌های ایستگاه‌های قزوین و بوئین زهرا نیز در مقیاس روزانه و بلندمدت در اختیار بوده و از این دو ایستگاه به عنوان شاهد برای تعیین شدت، فراوانی و روند سرمازدگی بهار در مقیاس بلند مدت استفاده شد.



شکل (۱). موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

- 1 . Snyder and Melo-Abreu
- 2 . Savage
- 3 . Muller et al
- 4 . Smyth and Skates

جدول (۱). مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

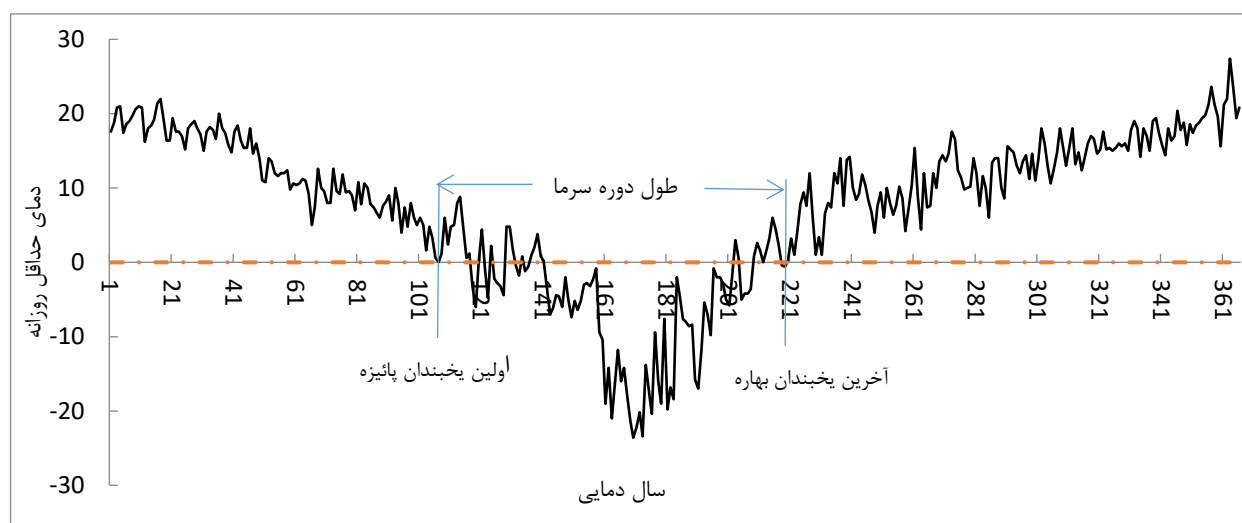
ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	قزوین	۴۰۷۳۱	همیدی	۱۵° ۳۶'	۵۰° ۰۰'	۱۲۷۹
۲	بوئین‌زهرآ	۹۹۳۲۷	همیدی	۷۸° ۳۵'	۱۷° ۵۰'	۱۲۱۸
۳	سیمرغ	-	محلی (خودکار)	۹۰° ۳۵'	۰۷° ۵۰'	۱۱۷۶
۴	مزرعه تات	-	محلی (خودکار)	۹۳° ۳۵'	۰۶° ۵۰'	۱۱۷۸

وضعیت وقوع یخبندان بهاره

به منظور بررسی وضعیت یخبندان‌های بهاره در این منطقه از داده‌های ماه آوریل استفاده شد. این ماه فصل گلدهی غالب باغ‌های منطقه بوده و دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد می‌تواند به محصولات باغی خسارت وارد نماید. با توجه به طول دوره آماری ایستگاه‌های قزوین و بوئین‌زهرآ در این دو ایستگاه تعداد، حداکثر، شروع و پایان دمای یخبندان محاسبه گردید.

تعریف سال دمایی

سال دمایی سالی است که ابتدا و انتهای آن در گرم‌ترین ماه سال قرار گیرد و بر حسب قرارداد آغاز آن اول ماه اوت هر سال و پایان آن ۳۱ ماه ژوئیه سال بعد می‌باشد. با این تعریف یخبندان دیررس بهاره آخرین یخبندانی است که در طی یک سال دمایی اتفاق می‌افتد و بر حسب عرض جغرافیایی ممکن است در اواخر زمستان یا اواخر بهار رخ دهد (خلیلی، ۱۳۹۳). در شکل ۲ تغییرات دمای حداقل بر اساس سال دمایی با آستانه دمایی صفر درجه سانتی‌گراد به همراه اولین سرمای بهاره و آخرین سرمای پاییزه ایستگاه بوئین‌زهرآ در سال دمایی ۲۰۰۸-۲۰۰۷ آمده است.



شکل ۲- تغییرات دمای حداقل در سال دمایی ۲۰۰۸-۲۰۰۷ در ایستگاه بوئین‌زهرآ برای آستانه دمایی صفر درجه سانتی‌گراد و زمان اولین و آخرین یخبندان

شاخص وضعیت سرمازدگی

بررسی فراوانی سرمازدگی دیررس بهاره در یک منطقه معیار مناسبی برای توسعه کشت محصولات باغی است. همچنین در برنامه‌ریزی روش‌های مبارزه فعال و غیرفعال با سرمازدگی برای کشت‌های موجود در یک منطقه نیز لازم و ضروری است. برای این منظور از تاریخ‌های نامناسب آخرین سرمازدگی دیررس بهاره بر اساس شاخص معیار بدون بعد به صورت معادله (۱) استفاده شد (خلیلی، ۱۳۹۳، خلیلی و همکاران ۱۳۹۵).

$$Z_i = \frac{(TDN)_i - \overline{TDN}}{SD_{TDN}} \quad (1) \text{ معادله}$$

Z_i متغیر معیار شده بدون بعد در یک سال معین i ، $(TDN)_i$ شماره روز دمایی تاریخ وقوع یخبندان دیررس بهاره در یک سال معین i ، \overline{TDN} میانگین شماره روزها (تاریخ متوسط) و SD_{TDN} انحراف معیارهای تاریخ‌های $(TDN)_i$ پدیده دمایی در دوره اقلیمی مورد مطالعه در هر ایستگاه می‌باشد.

اگر $Z_i=0$ باشد آخرین سرمای بهاری مطابق میانگین طبیعی اقلیمی محل بوده و شرایط نرمال است. اگر $Z_i<0$ باشد آخرین سرما قبل از تاریخ متوسط به وقوع پیوسته و زیان بخش نمی‌باشد. $Z_i>0$ نشان دهنده سرمای بعد از تاریخ میانگین بوده و زیان بخش می‌باشد. همچنین بر اساس این شاخص خطر سرمازدگی برای هر سال در چهار طبقه، خطر ناچیز ($Z<0$)، خفیف ($0<Z<0.25$)، ملایم ($0.25<Z<1/25$) و شدید ($Z>1/25$) دسته‌بندی شده است (خلیلی، ۱۳۹۳، خلیلی و همکاران ۱۳۹۵).

مدل پیش‌بینی دمای کمینه

پیش‌بینی دمای کمینه برای مبارزه با یخبندان بهاره به کشاورزان کمک می‌نماید تا در صورت لزوم تدابیر لازم برای انجام روش‌های مبارزه فعال را به کار گیرند. برای این منظور از یک مدل تجربی استفاده گردید. این مدل بر اساس مدل تجربی پیشنهاد شده به وسیله FAO که یک مدل خطی است و برای تخمین ضرایب (a, b, c) برای پیش‌بینی یخبندان تشعشی بر اساس معادله (۲) می‌باشد (اشنایدر و ملوآبرو، ۲۰۰۵).

$$T_{\min}=(a*T)+(b*T_{dw})+C \quad \text{معادله (۲)}$$

T_{\min} دمای حداقل در شب یخبندان، T دمای هوا در دو ساعت بعد غروب آفتاب، T_{dw} دمای نقطه شبنم در دو ساعت بعد غروب آفتاب است.

ضرایب این مدل با استفاده از متغیرهای اقلیمی دمای هوا و دمای نقطه شبنم در دو ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای حداقل ثبت شده روز بعد در شب‌های با سرمازدگی تشعشی در هر منطقه کالیبره می‌شود. برای اجرای مدل از برنامه FFST.xls و برای تعیین ضرایب منطقه‌ای از داده‌های دما و دمای نقطه شبنم دو ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای حداقل روز بعد استفاده شد. این مدل صرفاً برای پیش‌بینی سرمازدگی تشعشی دارای دقت قابل قبول است. بنابراین در شب‌هایی که شرایط ابری و سرعت باد بیش از ۲ متر بر ثانیه بوده مدل دقت کمتری دارد. برای این منظور تعداد ۲۵ رخداد سرمازدگی تشعشی بهاره در دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۱۹ در ایستگاه سیمرغ انتخاب گردید. با توجه به اینکه طول دوره آماری ایستگاه تات کوتاه‌تر از ایستگاه سیمرغ است مدل با استفاده از ۱۴ رخداد سرمازدگی در ایستگاه تات ارزیابی شد.

معیارهای عملکرد مدل

به منظور ارزیابی دقت مدل از شاخص‌های آماری متوسط خطای مطلق^۱ (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE)، ضریب همبستگی^۳ (R) و متوسط خطای نسبی^۴ (MSE) استفاده گردید. معادله‌های ۳ الی ۶ رابطه معیارهای آماری فوق را ارائه می‌دهند.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_{obsi} - X_{modeli}| \quad \text{معادله (۳)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{obsi} - X_{modeli})^2} \quad \text{معادله (۴)}$$

1. Mean absolute error
2. Root mean square error
3. Correlation coefficient
4. Mean relative error

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obsi} - X_{modeli})(X_{modeli} - \bar{X}_{model})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{obsi} - \bar{X}_{obs})^2 (X_{modeli} - \bar{X}_{model})^2}} \quad (۵)$$

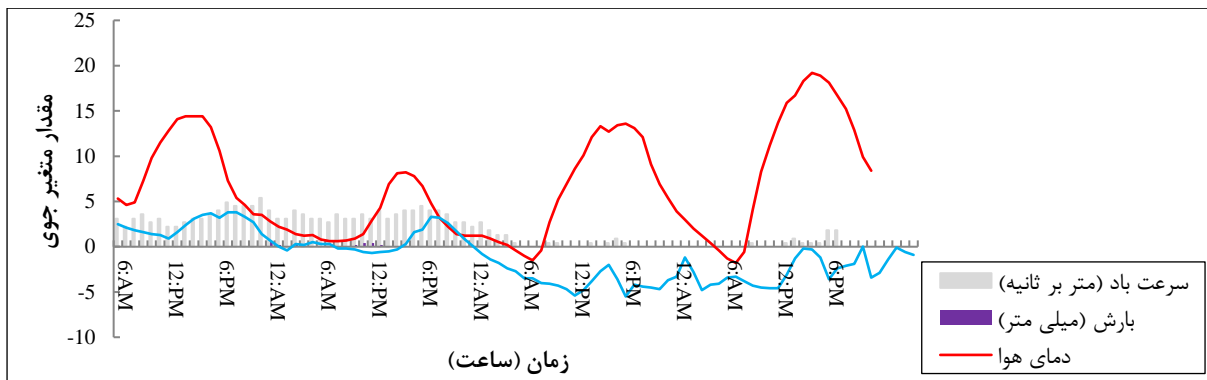
$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(X_{obsi} - X_{modeli})}{X_{obsi}} \right| \quad (۶)$$

X_{obs} و X_{model} به ترتیب مقدار مشاهده‌ای و برآورد شده داده توسط مدل و n تعداد داده‌ها است.

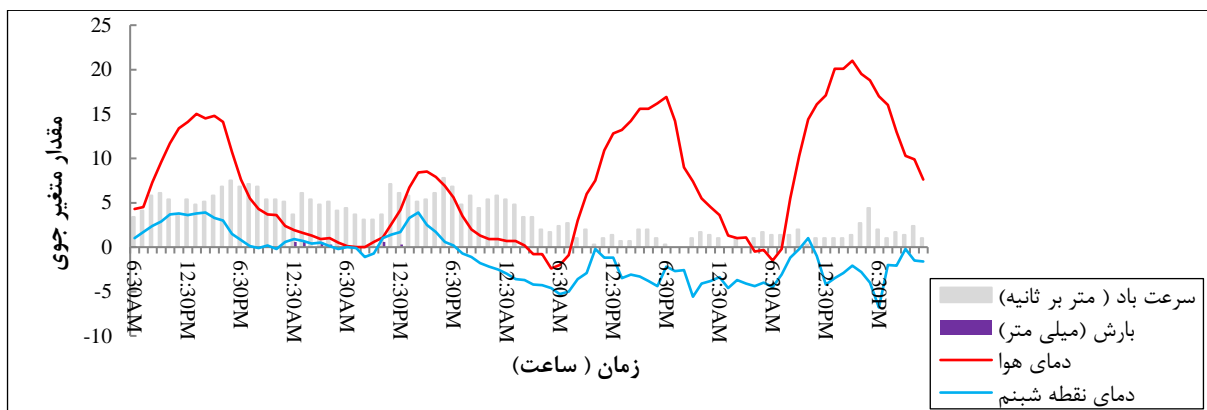
تجزیه و تحلیل داده‌ها

رخداد‌های سرمازدگی بهاره ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

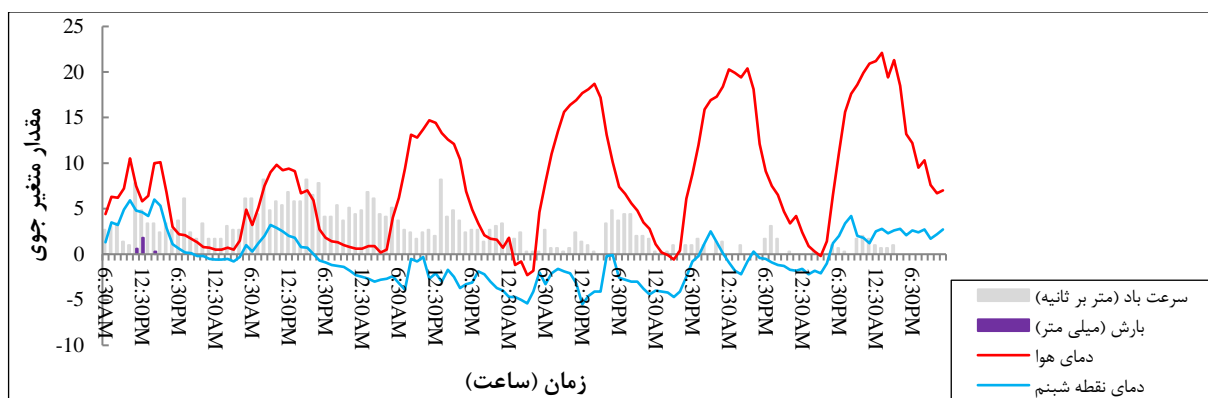
در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ سرمازدگی تشعشی بهاره در منطقه بوئین‌زهرا سبب خسارت به محصولات باغی گردید. برای این منظور داده‌های ساعتی دمای هوا، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و بارندگی ساعتی ایستگاه‌های سیمرغ و تات در تاریخ‌های وقوع این سرمازدگی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. اشکال شماره ۳ و ۴ تغییرات ساعتی دمای هوا، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و بارش را در دو ایستگاه سیمرغ و تات برای رخداد سرمازدگی تشعشی نشان می‌دهد. در روز دوم این رخداد با ورود یک جبهه هوا با بارش کم و افت دمای نقطه شبنم و همچنین کاهش سرعت باد به کمتر از ۲ متر بر ثانیه در ابتدای روز سوم یخبندان تشعشی رخ داد. همچنین در روز سوم با وجود افزایش دما، به دلیل تداوم باد آرام و افت شدید دمای نقطه شبنم، در صبح روز چهارم مجدداً یخبندان تشعشی به وقوع پیوست.



شکل ۳ - تغییرات متغیرهای جوی نسبت به زمان در یخبندان ۲۶ الی ۲۹ فروردین ۱۳۹۷ در ایستگاه سیمرغ



شکل ۴ - تغییرات متغیرهای جوی نسبت به زمان در یخبندان ۲۶ الی ۲۹ فروردین ۱۳۹۷ در ایستگاه تات



شکل ۵- تغییرات متغیرهای جوی در یخبندان ۲ الی ۷ اردیبهشت ۱۳۹۸ در ایستگاه تات

در شکل ۵ تغییرات متغیرهای جوی را در تاریخ ۲ الی ۷ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ آمده است. در روز سوم و چهارم به دلیل افت دمای نقطه شبنم و کاهش سرعت باد در بعد از نیمه شب شرایط برای وقوع سرمازدگی تشعشی مهیا گردید. همچنین در روز پنجم نیز با وجود افزایش دمای ماکزیمم به دلیل افت دمای نقطه شبنم به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد و تداوم باد آرام، دمای صفر درجه سانتی‌گراد رخ داد. رخدادهای سرمازدگی در اشکال ۳ الی ۵ نشان می‌دهد که در صورت ورود جبهه هوای سرد اگر در روزهای بعد با افت دمای نقطه شبنم و همچنین کاهش سرعت باد و آسمان صاف مواجهه گردیم شرایط مناسبی برای سرمازدگی تشعشی فراهم خواهد شد.

تغییرات شاخص‌های دمای حداقل

جدول ۲ تغییرات شاخص‌های دمای حداقل را برای ایستگاه قزوین نشان می‌دهد. شاخص‌های یخبندان شامل شدیدترین یخبندان، آخرین رخداد یخبندان و تعداد رخداد یخبندان بهاره در سه دهه اول دوره زمانی مورد بررسی بیش از سه دهه دوم بود. تعداد رخدادهای دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد در اردیبهشت ماه در دهه اخیر (۲۰۱۹-۲۰۱۱) بیشترین فراوانی را داشته است.

جدول ۲- تغییرات شاخص‌های مختلف یخبندان در ۶ دهه اخیر ایستگاه قزوین

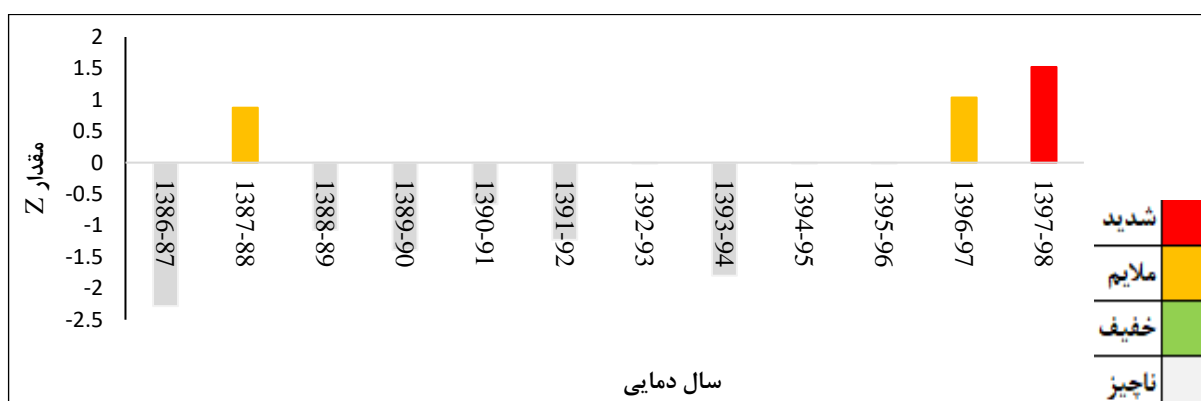
شاخص‌های دما	دهه					
	۱۹۶۱-۷۰	۱۹۷۱-۸۰	۱۹۸۱-۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰	۲۰۱۱-۲۰۱۹
کمترین دمای حداقل (°C)	-۷	-۷	-۸/۴	-۵/۶	-۵	-۳/۶
شماره سال دمایی شدیدترین رخداد یخبندان	۲۴۵	۲۳۹	۲۳۴	۲۳۶	۲۳۷	۲۳۳
تاریخ رخداد شدیدترین یخبندان	۱۳۴۶/۱/۱۳	۱۳۵۵/۱/۶	۱۳۶۹/۱/۱	۱۳۷۲/۱/۴	۱۳۸۴/۱/۵	۱۳۹۱/۱/۱
تعداد رخداد دمای یخبندان (روز)	۳۸	۳۹	۵۱	۴۲	۲۹	۲۴
تاریخ آخرین یخبندان	۱۳۴۰/۱/۲۹	۱۳۵۸/۲/۹	۱۳۶۶/۲/۱	۱۳۷۱/۲/۱۵	۱۳۸۲/۲/۹	۱۳۹۸/۲/۶
شماره سال دمایی آخرین رخداد یخبندان	۲۶۱	۲۷۲	۲۶۴	۲۷۹	۲۷۲	۲۶۹
دمای آخرین وقوع یخبندان (°C)	-۱	-۱	-۰/۶	-۰/۲	-۰/۴	-۰/۳
تعداد رخداد سرمازدگی در اردیبهشت ماه (روز)	۰	۱	۱	۱	۱	۵

شاخص وضعیت سرمازدگی

به منظور تعیین وضعیت سرمازدگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار متغیر معیار شده بدون بعد (Z_i) در ایستگاه‌های قزوین و بوئین‌زهرا مورد بررسی قرار گرفت. فراوانی تاریخ‌های نامناسب سرمازدگی در اشکال ۶ و ۷ این دو ایستگاه مشخص شده است. در ایستگاه قزوین از ۵ رخداد آخرین سرمازدگی بهاره شدید در دوره زمانی ۹۸-۱۳۳۸، ۴ رخداد در سی ساله دوم، ۳ رخداد در دو دهه اخیر و ۲ رخداد در یک دهه اخیر به وقوع پیوسته که نشان دهنده فراوانی وقوع بیشتر سرمازدگی با تاخیر است. در حالیکه تعداد فراوانی سرمازدگی‌های ملایم در سی ساله دوم نسبت به سی ساله اول کاهش یافته است.



شکل ۶- تغییرات متغیر Z_i در ایستگاه قزوین در دوره زمانی ۹۸-۱۳۳۸



شکل ۷- تغییرات متغیر Z_i در ایستگاه بوئین‌زهرا در دوره زمانی ۹۸-۱۳۸۶

مدل پیش‌بینی دمای کمینه

برای پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی بهاره از برنامه FFST.xls استفاده گردید. داده‌های ورودی به این برنامه شامل تعداد ۲۵ رخداد سرمازدگی تشعشعی در دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۲ در ایستگاه سیمرغ بود. برای این منظور از داده‌های دمای هوا و دمای نقطه شبنم ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای حداقل روز بعد استفاده گردید. ضرایب کالیبراسیون مدل برای شرایط وقوع سرمازدگی تشعشعی (فاقد ابرناکی و باد آرام) در معادلات ۵ و ۶ آمده است.

$$T_p = 0.183 * T_0 - 2.5 \quad \text{معادله (۵)}$$

$$T_p = 0.183 * T_0 + 0.083 * T_d - 2.3 \quad \text{معادله (۶)}$$

T_0 دمای هوا ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب، T_d دمای نقطه شبنم ۲ ساعت بعد غروب آفتاب و T_p دمای حداقل هوا در صبح روز بعد است. در این مقاله معادله (۵) و (۶) به ترتیب مدل ۱ و ۲ نام‌گذاری شد.

ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی مدل، مدل‌های به دست آمده در ایستگاه سیمرغ با استفاده از داده‌های ایستگاه مزرعه تات مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور تعداد ۱۴ رخدادهای سرمازدگی تشعشی در ایستگاه مزرعه تات انتخاب گردید و نتایج دو مدل در ایستگاه سیمرغ ارزیابی شد. شاخص‌های ارزیابی هر دو مدل در جدول ۳ آمده است. بر اساس نتایج جدول ۳ در هر دو مرحله تست و ارزیابی استفاده از مدل‌ها بر اساس دما و دمای نقطه شبنم در دو ساعت بعد از غروب آفتاب دقت بالاتری در برآورد دمای حداقل روز بعد نشان داد. بر اساس نتایج جدول ۳ مقدار شاخص RMSE برای تست مدل ۱ و ۲ به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد است. این نتیجه نشان می‌دهد که انحراف از خط ۱:۱، ۰/۸۸ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد است. ضریب تبیین (R) برای تست مدل ۱ حاکی از وابستگی ۰/۵۳ دمای مینیمم به دمای هوا در ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب است. شاخص متوسط خطای مطلق (MAE) برای تست مدل ۱ و ۲ به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۷ درجه سانتی‌گراد است که نشان‌دهنده دقت مناسب مدل بود.

جدول ۳- نتایج معیارهای آماری برای تست مدل با داده‌های ایستگاه سیمرغ و ارزیابی مدل با استفاده از ایستگاه مزرعه

آزمون	مدل	R	RMSE	MAE	MRE
تست	مدل ۱	۰/۵۳	۰/۸۸	۰/۷۱	۱/۸۸
	مدل ۲	۰/۵۷	۰/۸۵	۰/۶۷	۱/۹۹
ارزیابی	مدل ۱	۰/۵۲	۱/۵۵	۱/۲۱	۱/۰۷
	مدل ۲	۰/۷۳	۱/۴۷	۱/۰۹	۰/۸۱

بحث

در این تحقیق ابتدا سرمازدگی اواخر فروردین ماه ۱۳۹۷ و اوایل اردیبهشت ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفت در هر دو سال با ورود یک سیستم جوی جدید و افت دمای نقطه شبنم در روزهای بعد و همچنین کاهش سرعت باد به کمتر از ۲ متر بر ثانیه شرایط لازم برای سرمازدگی تشعشی مهیا گردید. برای این منظور داده‌های دمای حداقل ایستگاه قزوین در ۶۰ سال گذشته تحلیل شد. نتایج نشان داد شدت و فراوانی وقوع یخبندان بهاره کاهش یافته است. این موضوع ناشی از گرمایش جهانی دما است. این نتیجه با نتایج تحقیقات جعفری‌گلو و همکاران (۱۳۹۷)، خلیلی و همکاران (۱۳۹۵) و درپر و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر کاهش تعداد رخدادهای سرمازدگی بر اثر افزایش دما تطابق دارد. در چنین شرایطی وقوع آخرین یخبندان بهاره در سی سال دوم به سمت یخبندان در ماه اردیبهشت‌ماه رفته که بیشترین آن به تعداد ۵ یخبندان در دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۱۱ بوده که نشان‌دهنده افزایش خطر سرمازدگی در مرحله گلدهی گیاهان است. همچنین شاخص وضعیت سرمازدگی در ایستگاه قزوین نشان داد که فراوانی زمان وقوع سرمازدگی بهاره نسبت به دوره نرمال به تاخیر افتاده است. در حالیکه خطر سرمازدگی ملایم در سی سال دوم دوره آماری ۶۰ ساله به دلیل افزایش دمای هوا کاهش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده افزایش وقایع حدی در دهه‌های اخیر بود. این نتیجه همگام با نتیجه تحقیق ریگی و پورپوراتو (۲۰۰۸) بوده و ناشی از تغییرپذیری بیشتر دما در دهه‌های اخیر است. بنابراین ریسک بیشتر خطر سرمازدگی گیاهان با گرمایش دمای ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند محتمل باشد. نتایج تحقیق اینویه (۲۰۰۸) و گو و همکاران (۲۰۰۷) نیز این موضوع را نشان داده است. با توجه به تغییرپذیری در فراوانی، وقوع و شدت یخبندان دیررس بهاره پیش‌بینی سرمازدگی تشعشی پر اهمیت‌تر می‌باشد. در معادلات ۵ و ۶ ضرایب کالیبراسیون مدل تجربی آمده است. یکی از مزیت‌های معادله ۵ توان

مدل در پیش‌بینی با حداقل داده هواشناسی یعنی دمای هوا ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب بود. بنابراین پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی ۸ ساعت قبل از وقوع این پدیده امکان‌پذیر است.

برای مقایسه دقت دو مدل از شاخص‌های آماری استفاده گردید. نتایج شاخص‌های آماری در ارزیابی مدل‌های ۱ و ۲ ارائه شده در جدول ۳ مشخص نمود که این دو مدل در منطقه‌ای به فاصله حدود ۱۰ کیلومتری ایستگاه سیمرغ دقت قابل قبولی دارد. همچنین نتایج ارزیابی حاکی از خطای کمتر مدل ۲ نسبت به مدل ۱ است. با توجه به اینکه این منطقه موقعیت مکانی دشتی دارد امکان استفاده از مدل در مکان‌های مشابه و نزدیک به این ایستگاه نیز توصیه می‌گردد. در بین داده‌های تست برای مدل‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۷۲ درصد و ۸۰ درصد داده‌های برآورد شده خطای کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد را داشتند. در حالیکه این خطا برای نتایج ارزیابی مدل ۵۰ و ۶۴ درصد داده‌ها را شامل بود. این نتیجه تحقیق در مقایسه با تحقیقات گیلمی و اکسل ۲۰۰۶ نشان داد که مدل ۲ دقت بیشتری را داشته است. همچنین میانگین مربعات کمترین خطا (RMSE) در تست و ارزیابی مدل‌های ۱ و ۲ که مقادیر حداکثر و حداقل ۱/۵۵ و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد بود در مقایسه با نتیجه تحقیقات فوئنتس و همکاران (۲۰۱۸) که مقدار ۲/۹۹ درجه سانتی‌گراد نشان داد دقت مناسب‌تری را داشت.

نتیجه‌گیری

یکی از خسارت‌های عمده به بخش کشاورزی به خصوص محصول باغی سرمازدگی دیررس بهاره است. خسارت‌های وارده به محصولات کشاورزی نه تنها در سال بروز آن بلکه ممکن است در سال‌های بعد نیز روی تولید اثرگذار باشد. اولین گام در مبارزه با سرمازدگی پیش‌بینی زمان وقوع این رخداد است. اگرچه پیش‌بینی دمای حداقل روزانه برای ۷۲ ساعت آینده توسط سازمان هواشناسی کشور صورت می‌پذیرد اما با توجه به پراکندگی و دور بودن مناطق کشاورزی از ایستگاه‌های هم‌مدیدی هواشناسی و همچنین وقوع پدیده سرمازدگی تشعشعی نیاز به مدل‌های ساده با حداقل داده‌های هواشناسی برای پیش‌بینی دمای کمینه هوا وجود داشته تا در صورت وقوع این پدیده امکان مبارزه فعال فراهم گردد. در این تحقیق ابتدا دوره زمانی وقوع سرمازدگی دیررس بهاره در منطقه بوئین زهرا مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به طول دوره زمانی مناسب ایستگاه قزوین از داده‌های ۶۰ ساله این ایستگاه برای بررسی تاریخ آخرین وقوع، تعداد و شدت سرمازدگی استفاده گردید. نتایج نشان داد سرمازدگی‌های دیررس بهاره شدت کمتری پیدا نموده اما تاریخ وقوع آنها به تاخیر افتاده که با توجه به زمان حساسیت گیاه به یخبندان در این دوره می‌تواند باعث خسارت به محصولات کشاورزی گردد. در مرحله دوم برای پیش‌بینی دمای کمینه با استفاده از مدل تجربی در یک ایستگاه محلی (سیمرغ) که دارای داده‌های ساعتی است تعداد ۲۵ رخداد سرمازدگی تشعشعی انتخاب گردید. ضرایب مدل با استفاده از داده‌های دمای هوا و دمای نقطه شبنم ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب و دمای کمینه روز بعد محاسبه شد. ضرایب دو مدل با استفاده از دمای هوا و دمای نقطه شبنم ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب کالیبره گردید. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از داده‌های مزرعه تات انجام شد. نتایج نشان داد هر دو مدل برای این منطقه دارای دقت مناسبی بود. همچنین مدل با ورودی دما و دمای نقطه شبنم دو ساعت بعد از غروب آفتاب، دقت بیشتری داشت. کشاورزان در این مناطق می‌توانند دمای کمینه روز بعد را با اندازه‌گیری دمای هوا در ۲ ساعت بعد از غروب آفتاب با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمایند. باید توجه نمود که کارایی این مدل تنها برای سرمازدگی تشعشعی بوده و در صورت تغییر وضعیت باد و ابرناکی یا ورود جبهه جدید مدل کارایی مناسبی نخواهد داشت. با توجه به تهیه مدل منطقه‌ای و نیاز به داده‌های کامل هواشناسی پیشنهاد می‌گردد این مدل برای دشت‌های دیگر کشور نیز در پیش‌بینی سرمازدگی تشعشعی کالیبره و برای هر منطقه مدل مناسب ارائه گردد.

منابع

- امیدوار کمال؛ دهقان بنادکی، زهرا. (۱۳۹۱). بررسی و تحلیل پدیده‌ی سرمازدگی شدید بهاره باغ‌های پسته در استان یزد، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، (۲): ۱۰: ۲۳۷-۲۵۳.
- بهاروندی کبری؛ خورشیددوست علی‌محمد؛ نساجی زواره مجتبی. (۱۴۰۰). آشکارسازی نوسانات اقلیمی با استفاده از روش آزمون همگنی نرمال استاندارد (مطالعه موردی: ایستگاه خرم‌آباد)، **نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، (۷۵): ۲۵-۵۱-۶۳**.
- جعفری‌نگلو ناصر؛ خورشیددوست علی‌محمد؛ رضایی بنفشه مجید؛ رستم‌زاده هاشم. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات شروع و خاتمه یخبندان‌ها و سرماهای موثر در کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال غرب ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، (۴): ۵: ۴۹-۶۴.
- جعفری‌نگلو ناصر؛ خورشیددوست علی‌محمد؛ رضایی بنفشه مجید؛ رستم‌زاده هاشم. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات دماهای کمینه در شمال‌غرب کشور با استفاده از ریزمقیاس گردانی آماری خروجی مدل‌های جهانی **HadCM3 و MPEH5، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، (۷۷): ۲۵-۱۷-۳۰**.
- حصاری بهزاد؛ رضایی رضا؛ نیکانفر رامین؛ طایفه نسکیلی نادره. (۱۳۹۴). بررسی و تهیه نقشه‌های وقوع سرمازدگی گیاهان زراعی و باغی در استان آذربایجان غربی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۲): ۴: ۱۱۷-۱۳۵.
- خلیلی علی؛ رحیمی جابر؛ بذرافشان جواد. (۱۳۹۶). پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم بر تاریخ و ریسک یخبندان دیررس بهاره طی قرن بیست و یکم در ایران، نشریه هواشناسی کشاورزی، (۱): ۲: ۳۸-۴۸.
- خلیلی علی. (۱۳۹۳). ارزیابی کمی و مدل‌سازی ریسک سرمازدگی بهاره محصولات زراعی و باغی در ایران، نشریه هواشناسی کشاورزی، (۱): ۲: ۳۱-۱۷.
- دارائی محمد؛ ساری صراف بهروز؛ خورشیددوست علی‌محمد؛ محمودی پیمان. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر جابجایی زمانی تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان‌های پاییزه و بهاره ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۴): ۶: ۸۱-۹۶.
- فاطمی؛ مهران. (۱۴۰۰). **تحلیل فضایی توزیع زمانی و مکانی آغاز و خاتمه وقوع یخبندان در استان یزد، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، (۷۶): ۲۵-۲۰۳-۲۱۴**.
- نصر اصفهانی مهرداد؛ یزدان‌پناه حجت‌الله؛ نصر اصفهانی محمدعلی. (۱۳۹۸). ارزیابی مدل WRF برای پیش‌بینی دما و رخداد سرمازدگی در حوضه آبریز زاینده‌رود، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۱): ۵۱: ۱۶۳-۱۸۲.
-
- Drepper, B., Gobin, A., Orshoven, J. V., (2022), **Spatio-temporal assessment of frost risks during the flowering of pear trees in Belgium for 1971–2068**, *Agricultural and Forest Meteorology*, **315**: 12pp.
- Fuentes, M., Campos, C., García-Loyola, S., (2018), **Application of artificial neural networks to frost detection in central Chile using the next day minimum air temperature forecast**, *Chilean Journal of Agricultural Research*, **78(3)**: 327-338.
- Ghielmi, L., Eccel, E., (2006), **Descriptive models and artificial neural networks for spring frost prediction in an agricultural mountain area**, *Computers and Electronics in Agriculture*, **54(2)**: 101–114.
- Glickman, T.S., (2000), **Glossary of Meteorology**, 2nd ed. American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, USA. 850 p
- Gu, L., Hanson, P.J.W., Post, M. Kaiser, D.P. Yang, B. Nemani R., Pallardy, S.G., Meyers, T., (2008), **The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world?** *BioScience*, **58(3)**: 253–262.
- Inouye, D.W. (2008), **Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers**, *Ecology*, **89(2)**: 353–362.
- Katz, R.W., Brown, B.G., (1992), **Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages**, *Climate Change*, **21(3)**: 289–302.

- Lee, H., Chun, J. A., Han, H., Kim, S., (2016), **Prediction of frost occurrences using statistical modeling approaches**, *Advances in Meteorology*, 1-9
- Menzel, A., (2000), **Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996**, *International Journal of Biometeorology* **44(2)**: 76–81.
- Moeletsi, M.E., Tongwane, M.I., (2017), **Spatiotemporal variation of frost within growing periods**, *Advances in Meteorology*, 1-11.
- Rigby, J. R., Porporato, A., (2008), **Spring frost risk in a changing climate**, *Geophysical Research Letters*, **35(12)**: 1-5.
- Schaber, J., Baldeck, F.W., (2005), **Plant phenology in Germany over the 20th century**, *Regional Environmental Change*, **5(1)**: 37–46.
- Snyder, R.L., de Melo-Abreu, J.P., (2005). **Frost Protection: fundamentals, practice, and economics**, Volume 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lhotka, O., Bronnimann, S., (2020). **Possible increase of vegetation exposure to spring frost under climate change in Switzerland**, *Atmosphere*, **11(4)**: 391; <https://doi.org/10.3390/atmos11040391>.
- Lungu, M., Panaitescu, L., Albu, A., Cracu, G., Nita, S., (2010). **Frost and thaw - Climatic risk to crops in Southern Dobrudja**. *Research Journal of Agricultural Science* **42**: 673-677.
- Savage, M. J., (2012). **Estimation of frost occurrence and duration of frost for a short-grass surface**, *South African Journal of Plant and Soil***29(3-4)**: 173–181.
- Muller, K. O'Connor, T. G., Henschel, J. R., (2016). **Impact of a severe frost event in 2014 on woody vegetation within the Nama-Karoo and semi-arid savanna biomes of South Africa**. *Journal of Arid Environments*, 133: 112–121.
- Smyth, M., Skates, H. A., (2009), **passive solar water heating system for vineyard frost protection**. *Solar Energy*, **83(3)**: 400–408.
- Masaki, Y., (2022). Future frost risks in the Tohoku region of Japan under a warming climate—interpretation of regional diversity in terms of seasonal warming. *Theoretical and Applied Climatology*, 147:473–485.**